

目視検査画像の超解像度処理による検査員支援システム

In-Vessel Visual Inspection System using Super Resolution Technique

(株) 東芝	佐藤 美徳	Yoshinori SATOH	Nonmember
(株) 東芝	相川 徹郎	Tetsuro AIKAWA	Nonmember
(株) 東芝	湯口 康弘	Yasuhiro YUGUCHI	Member
(株) 東芝	安達 弘幸	Hiroyuki ADACHI	Nonmember
(株) 東芝	落合 誠	Makoto OCHIAI	Nonmember

In-Vessel Visual Inspection (IVVI) is usually conducted as indirect visual inspection with remote TV cameras. We often face the following issues in IVVI. When IVVI is conducted at narrow space in the vessel, it is difficult for inspectors to set the cameras to the best position remotely and manually. When the cameras are quickly moved to reduce hours of IVVI, the visibility becomes poor because of motion blurs. For overcoming these problems, we focused on “Super Resolution (SR)” that is one of image processing techniques and developed a prototype system to perform the SR in IVVI. This SR technique can enhance the resolution of images with software without expensive hardware. This report shows the overview of the prototype system and its evaluation.

Keywords: In-Vessel Visual Inspection, Image Processing, Super Resolution

1. 緒言

TVカメラ等を用いた間接目視検査は、対象面がそのまま画像化されることから結果を直感的に理解でき、また遠隔非接触であるメリットもあって、幅広く利用される検査法である。但し、詳細な画像が得たければカメラを対象に対し物理的に近接させるか、ズーム機能で光学的に拡大する必要がある。また、一般的に素早く移動しながら画像を撮影すれば、撮像物の視認性は低下する。原子炉内目視検査を考えた場合、カメラの操作は水中遠隔となり、特に形状が複雑で狭い部位において所望の近接やズームを利用するには熟練したスキルが要求される。また、走査による視認性低下の観点からカメラの走査速度には上限がある。そこで我々は、画像処理の一手法である“超解像度” [1]に着目し、ソフト的に撮像の空間分解能を向上させることを提案する。解像度が向上すれば、カメラの動作や光学的操作なしに、実質的に近接やズームと同じ効果が得られるし、また、高速走査時の視認性低下を防止することも期待される。本稿では、超解像度処理を実際の検査画像に適用し、検査員を支援するために試作したシステムについて、その性能を試験結果に基づき報告する。

2. 手法概要

適用を考える超解像度は、動画像内の複数枚フレーム、つまり時間変化のみを利用し、情報の追加なしに解像度を向上させた静止画像を得る画像処理手法である。この解像度向上により、視認性の良い検査画像を提供でき、目視検査の精度改善を図れるものと考えた。本手法では、まず、解像度の低い複数フレーム同士の相対位置関係を1画素以下の精度で計測する。そして、その位置情報を基に、Fig.1のように元の画素より細かい格子上でそれらのフレームを再配置し重ね合わせる。この格子上の輝度を複数フレームの輝度情報から統計的に推定することで、解像度の高い画像を生成できる。

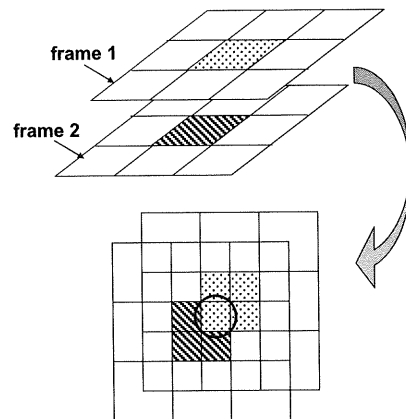


Fig. 1 Principle of Super Resolution

連絡先: 佐藤美徳、〒235-8523 横浜市磯子区新杉田町8、
(株) 東芝 電力・社会システム技術開発センター、
電話: 045-770-2307、
e-mail: yoshinori4.satoh@toshiba.co.jp

3. 評価試験結果

超解像度を適用した場合、間接目視の性能がどれだけ向上するか、ASME2007の目視検査規格 VT-1 グレード[2]の考え方に基いて検証試験を行った。同規格は、ひび検出等の検査を行う際、1.1mm 高の文字を確認できる条件で検査を行うことと定めている。そこで我々は、1.1mm 高のアルファベット文字列が描かれた試験用紙を CCD カメラで撮影、映像中に映る同文字列の視認性を官能試験にて評価した。今回は、38 万画素アナログ CCD カメラ、8mm 固定焦点レンズを用いた。また XY ステージにて試験用紙を走査することで、被写体の移動(カメラ運動)による影響も評価対象とした。

Fig.2 に、実際に撮影した原画像とそれを超解像度化した画像を示す。この例では「awcneuo」の文字列が描かれており、原画像では解像度不足とステージによる移動の影響で文字を判読できないが、超解像度化の結果では判読可能になっている様子が見える。

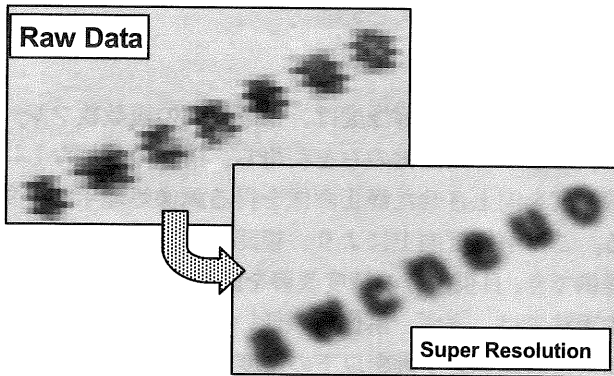


Fig.2 Result of Super Resolution for VT-1 characters

Fig.3 に、試験用紙-カメラ間の距離と、可読率 (3 人の試験者が正しく読めた文字数の割合) の関係を示す。原映像 (●)、その映像からキャプチャして得られた静止画像 (■)、約 3 倍超解像度化した画像 (▲)、それぞれで文字を判読した場合の可読率を比較した。その結果、例えば、撮影距離 150mm で撮影した原映像における可読率が 65%であるのに対し、まったく同じ撮像系および撮影条件の画像に対して超解像度処理を施すことによって、100%の可読率を保てる事が分かる。

最後に、Fig.4 に模擬検査画像に対して超解像度化処理を施した例を示す。同例は、平板試験体に付与したひび (応力腐食割れ) であるが、ひび部の視認性が向上していることが分かる。

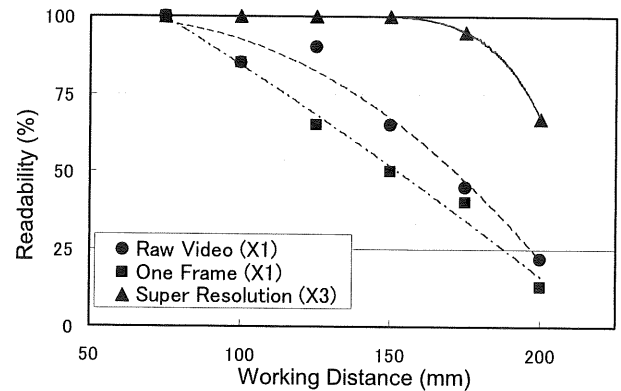


Fig.3 Relation between readability and working distance (Scanning speed: 10mm/sec)

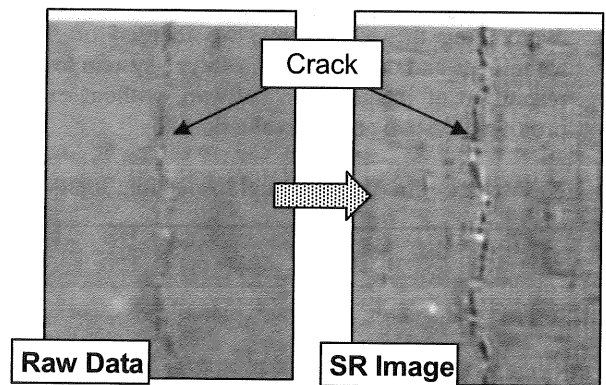


Fig.4 Result of Super Resolution for a crack

4. 結言

今回、間接目視検査の品質向上のため、超解像度の適用を試み、その評価試験にて以下の効果を確認した。

- ① より遠くから撮像した場合でも従来と同等の解像度画像が得られる (同じ撮影距離条件ではより精細な画像が得られる) ため、撮影条件をフレキシブルに選択できる。
- ② より高速にカメラを移動させて撮影しても視認性のよい静止画像が得られるため、撮影のための走査時間を短縮できる。

今後、実プラントへの適用を推進するとともに、画像処理を応用した更なる目視検査の高品質化を目指す。

参考文献

- [1] S. C. Park et al., "Super-Resolution Image Reconstruction: A Technical Overview," IEEE Signal Processing Magazine, Vol.20, No.3, 2003, pp.21-36.
- [2] ASME Boiler & Pressure Vessel Code, Sec XI, 2997 Edition, IWA-2211.